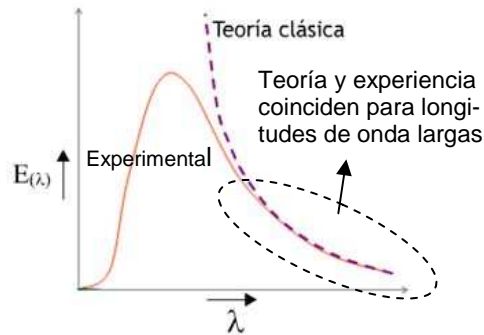


En los últimos años del s. XIX y principios del XX **el estudio de la interacción entre la materia y las ondas electromagnéticas** llevó a la formulación de importantes problemas cuya resolución condujo a una concepción nueva de la física que rige el comportamiento de los átomos: la **Física Cuántica**.

Los tres fenómenos que dieron las pistas para la formulación de la Física Cuántica tenían relación con la absorción y/o emisión de ondas electromagnéticas por los átomos que constituyen la materia.



**Espectro de la energía emitida por un cuerpo negro**

La aplicación de la mecánica, la termodinámica y la física estadística llevaban a la conclusión de que **la energía emitida debería crecer con el cuadrado de la frecuencia**.

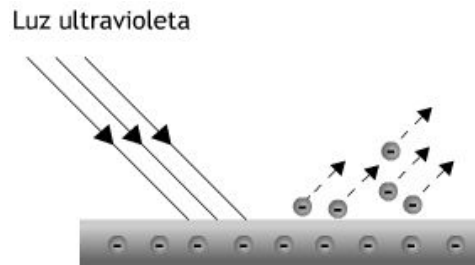
Los datos experimentales, sin embargo, indican que el poder emisivo cae bruscamente para longitudes de onda pequeñas. La física clásica, por tanto, solamente da resultados ajustados a los datos experimentales para longitudes de onda elevadas.

Este hecho (conocido como **"catástrofe ultravioleta"**) no tenía solución. La teoría no podía explicar los hechos experimentales.

**Max Planck** proporcionó una solución. En 1900 presentó una expresión teórica que se adaptaba a la curva experimental. Para ello tuvo que introducir una extraña hipótesis:

**"Los intercambios de energía entre materia y radiación tienen lugar no de manera continua, sino por cantidades discretas e indivisibles o cuantos de energía. El cuanto de energía es proporcional a la frecuencia de la radiación"**

$$E = h \nu \quad h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$



**Efecto fotoeléctrico**

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por algunos metales cuando son iluminados con luz (generalmente ultravioleta).

La interpretación de la emisión de los llamados fotoelectrones no podía ser explicada correctamente si se usaba la teoría disponible en la época.

En 1905 **A. Einstein** propuso una explicación para los hechos expuestos. **Sugirió que la luz está formada por pequeños cuantos de energía (fotones). La energía de los cuantos luminosos está ligada con su frecuencia según la fórmula de Planck:  $E = h \nu$**

**Por debajo de la frecuencia umbral,  $\nu_0$ , no existe emisión de fotoelectrones.**

$$E_{c \text{ MAX}} = h \nu - h \nu_0$$

$$W = h \nu_0$$

Trabajo de extracción

$$E_{c \text{ MAX}} = qV = h \nu - h \nu_0$$

Potencial de frenado



**Espectro de emisión de los gases**

El modelo atómico de Rutherford llevaba a la conclusión de que los espectros deberían de ser continuos. La experiencia, por el contrario, mostraba que los espectros de los átomos son discontinuos. Constan de rayas de diversos colores sobre un fondo negro.

**Niels Bohr** propone en 1913 un nuevo modelo de átomo sustentado en tres postulados:

1. Cualquiera que sea la órbita descrita por un electrón, este **no emite energía**. Las órbitas son consideradas como **estados estacionarios**.
2. **No todas las órbitas son posibles**. Sólo pueden existir aquellas órbitas que tengan ciertos valores de energía, dados por el número cuántico principal, n. Solamente son posibles las órbitas para las cuales el número cuántico principal (n) toma valores enteros: n = 1, 2, 3, 4....
3. **La energía liberada al caer un electrón desde una órbita superior, de energía E2, a otra inferior, de energía E1, se emite en forma de luz. La frecuencia de la luz emitida viene dada por la expresión:**

$$E_2 - E_1 = h \nu$$

En la década de 1920, una nueva generación de físicos (Schrödinger, Heisenberg, Dirac...) elaborarán una nueva física, la **Física Cuántica**, destinada a la descripción de los átomos, que supuso una ruptura con la física existente hasta entonces.

La explicación dada por A. Einstein al efecto fotoeléctrico (1905) reavivó la vieja polémica sobre la naturaleza de la luz.

Einstein consideraba que la luz estaba formada por pequeños cuantos de energía (fotones), sin embargo la teoría electromagnética de Maxwell (1860) otorgaba a la luz una naturaleza ondulatoria apoyada por hechos tales como el fenómeno de la interferencia, la difracción o el valor de la velocidad de la luz en el agua (Fizeau, 1849).

Einstein recupera la vieja idea de Newton de que **la mejor manera de entender la naturaleza de la luz podría consistir en una fusión de las teorías ondulatoria y corpuscular.**



**Louis De Broglie** (entre 1923 y 1925) **propuso extender la dualidad onda-partícula a toda la materia**, desarrollando la teoría matemática que describe las llamadas **ondas de materia**:

**Toda partícula en movimiento lleva asociada una onda, tal que su longitud de onda viene dada por:**

$$p \lambda = h ; m v = \frac{h}{\lambda}$$

**La materia tiene, por tanto, naturaleza dual.** Puede comportarse como onda o como partícula. El aspecto ondulatorio queda prácticamente anulado cuando consideramos objetos macroscópicos, grandes, a escala humana, pero cuando consideramos partículas de tamaño subatómico, como electrones, por ejemplo, la dualidad entre onda y partícula es patente.



Erwin Schrödinger

**E. Schrödinger**, desarrollando la teoría de De Broglie, **considera al electrón como una onda e intenta obtener la correspondiente ecuación.**

En 1925 propone la llamada **ecuación de onda para un electrón** que describe su comportamiento en el átomo de hidrógeno:

$$\nabla^2 \psi + \frac{8 \pi^2 m}{h^2} (E - V) \psi = 0$$

La resolución de la ecuación de onda permite obtener la llamada **función de onda para el electrón,  $\Psi$ , u orbital atómico**, y su energía, E.

La función de onda lleva asociados unos **números cuánticos n, l y m** los cuales han de tener determinados valores para que la solución obtenida sea válida. **La energía del electrón no puede tomar valores cualesquiera**, sólo los correspondientes a los valores permitidos de los números cuánticos. **La energía del electrón en el átomo está cuantizada.**

En el tratamiento de Schrödinger, los números cuánticos surgen de forma espontánea como consecuencia de las condiciones impuestas a un electrón ligado al núcleo, **la cuantización de la energía surge de la propia teoría, no se impone.**

El desarrollo de Schrödinger dio lugar a una de las ramas de la Física Cuántica, **la Mecánica Ondulatoria.**



Werner Heisenberg

**Werner Heisenberg** desarrolló la otra rama de la Física Cuántica, conocida como **Mecánica de Matrices**, ya que estos elementos matemáticos (las matrices) constituyen la parte esencial del lenguaje matemático utilizado.

Las conclusiones más sorprendentes que se extraen de la Mecánica de Matrices surgen cuando se analiza el proceso de medida:

- **No es posible determinar, en general, con absoluta certidumbre el resultado de una medida. O lo que es lo mismo, sólo es posible determinar la probabilidad de que la medida dé un valor dado.**
- **El hecho de medir origina una alteración drástica del propio sistema que se mide.**

En 1927 enuncia el llamado **Principio de Incertidumbre** o **Principio de Indeterminación** surgido como un consecuencia del desarrollo de su teoría.

**"Existen ciertos pares de magnitudes físicas (aquellas cuyo producto tenga las mismas dimensiones que h) que no pueden ser medidas de forma simultánea con total exactitud, ya que debe cumplirse que el producto de la indeterminación de las medidas debe ser igual o mayor que  $h / 4 \pi$**

La posición y el momento lineal, o la energía y el tiempo son algunos ejemplos:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4 \pi} = \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4 \pi} = \frac{\hbar}{2}$$